

Pemodelan dan Analisa *Antilock Braking System* (ABS) Pada *Military Vehicle* Studi Kasus Panzer Anoa APC 6X6

Muhammad Jundulloh dan I Nyoman Sutantra

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Laboratorium Otomotif, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: tantra@me.its.ac.id

Abstrak—Dari awal terciptanya hingga saat ini, berbagai macam sistem dalam kendaraan terus menjadi obyek penelitian misalnya keamanan, kenyamanan dan kemudahan dalam pemakaian serta keindahan desain interior dan eksterior dari bentuk kendaraan itu sendiri. Salah satu sistem yang sangat berperan penting dalam kendaraan adalah sistem pengereman yang mempunyai fungsi memberhentikan laju kendaraan. Salah satu metode untuk mengetahui performa dari sistem pengereman yaitu dengan melakukan pemodelan dinamis. Dalam studi ini akan dilakukan pemodelan *Antilock Braking System* dan analisa pada kendaraan *Military Vehicle* Panzer Anoa APC 6X6. ABS diberikan di dua roda belakang dan parameter sistem rem sebelumnya diambil dari PT PINDAD. Lalu hasil analisa ini didapat nilai gaya di *brake pedal*, gaya di *booster rem*, tekanan di master silinder, gaya di *caliper*, gaya dan torsi di *disk pad*. Setelah itu menambahkan komponen ABS kemudian dilakukan pemodelan dan simulasi dengan *software* dengan kecepatan Panzer 60 km/jam dan membandingkan *stopping distance* LBS terhadap ABS sesuai standar internasional serta perilaku beloknya. Skema untuk ABS Panzer sama seperti yang LBS namun ada tambahan komponen seperti *ABS Control Unit*, *Hydraulic Modulator* dan *Wheel Speed Sensor*. Dan dari simulasi didapatkan respon *stopping distance* ABS = 16 meter, LBS = 18.45 meter. Untuk waktu pengereman ABS = 1.94 detik, LBS = 2.20 detik. Nilai koefisien gesek lateral LBS = 0.00 sedangkan untuk ABS nilai koefisien gesek lateralnya = 0.10 – 0.40, sehingga perilaku belok LBS lebih cenderung *oversteer* dibanding ABS.

Kata Kunci—*Antilock Braking System*, *ABS*, *Military Vehicle Dynamic*, *Stopping Distance*.

I. PENDAHULUAN

SISTEM pengereman dalam kasus ini *conventional brake* adalah sebuah sistem yang memiliki komponen seperti tuas rem, rem *booster*, master silinder, reservoir minyak rem, pipa rem, selang rem, kaliper, dan cakram. *Antilock Braking System* (ABS) sendiri mempunyai komponen yang sama dengan *conventional brake*, namun ada tambahan seperti *ABS control unit*, kabel interkoneksi, modulator hidrolik (termasuk di dalamnya katup solenoid dan pompa), *warning lamp ABS*, sensor kecepatan roda. ABS pada dasarnya yaitu mendeteksi jika salah satu roda mengunci ketika proses pengereman dan ABS memastikan bahwa tekanan rem tetap konstan atau berkurang [1]. Dengan demikian dapat mencegah roda terkunci dan tetap *steerable*, dimana kendaraan bisa mengerem atau berhenti dengan cepat maupun aman.

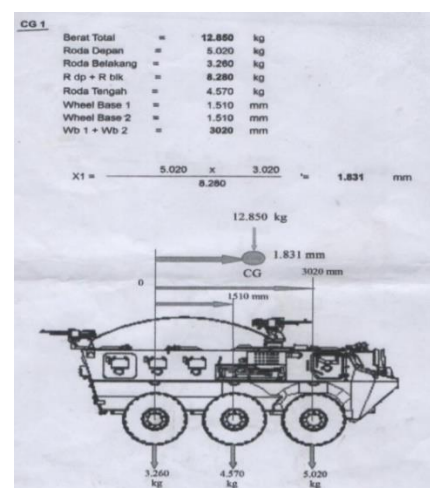
Pada studi ini dilakukan pemodelan sistem pengereman *Antilock Braking System* dan menganalisa perilaku Panzer Anoa APC 6X6. Dimana metode pendesainan adalah dengan

melakukan *redesign engineering* sistem pengereman Panzer yang telah ada dan menganalisa perilaku dengan simulasi pada *software*. Panzer Anoa APC 6X6 ini akan menggunakan *Antilock Braking System* pada kedua roda belakangnya. Hal ini terkait pemikiran penulis beserta dosen pembimbing bahwa *oversteer* lebih berbahaya dibanding *understeer* dan faktor lainnya adalah keekonomisan. Parameter yang akan ditinjau adalah perilaku berbelok dan jarak pengereman ketika berjalan lurus.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Perhitungan center of gravity dan berat Panzer dengan penumpang

Untuk menentukan posisi *center of gravity* dari kendaraan, dapat dilakukan dengan cara menimbang bagian Panzer dalam posisi datar maupun miring. PT. PINDAD sudah menimbang berat Panzer sesuai regulasi dan didapat *center of gravity* seperti gambar 1 (kondisi tanpa penumpang).



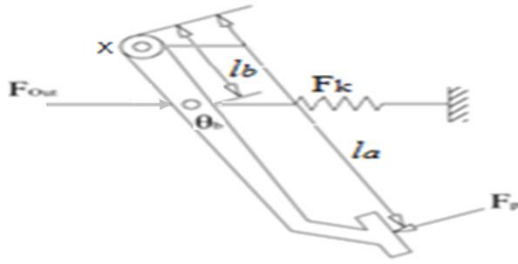
Gambar 1. Jarak CG dari roda depan dan belakang [2]



Gambar 2. Free body diagram Panzer

B. Perhitungan Pada Komponen Rem

1) Brake Pedal



Gambar 3. Brake Pedal Schematic

Pedal merupakan masukan dari gaya pengereman, pada pembahasan ini gaya pedal yang diberikan adalah gaya maksimum dari injakan kaki pengemudi rata-rata gaya maksimum injakan kaki pengemudi adalah 30 kg. Gaya yang dihasilkan dari pengereman akan di salurkan melalui *push rod*, sehingga dapat dihitung seperti dibawah ini :

$$\sum M_x = 0$$

$$F_p \cdot l_a = (F_{out} + F_k) \cdot l_b \cdot \sin \theta_b \quad (1)$$

Gaya pegas

$$F_k = \Delta x \cdot k \quad (2)$$

dimana :

F_k = gaya oleh pegas (N)

k = kekakuan pegas (N/m)

Δx = perubahan panjang pegas akibat F_k (m)

Gaya push rod

$$F_{out} = \frac{F_p \cdot l_a}{l_b \cdot \sin \theta_b} - F_k \quad (3)$$

l_a = jarak pedal rem ke tumpuan (m)

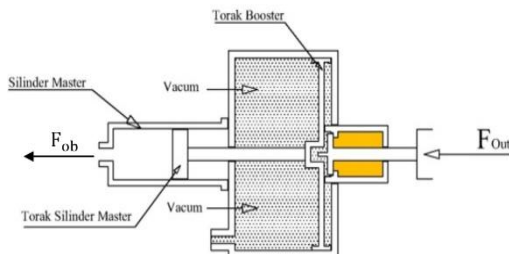
l_b = jarak *push rod* ke tumpuan (m)

F_p = gaya pedal oleh pengemudi (N)

F_{out} = gaya *push rod* (N)

2) Brake Booster

Gaya yang keluar dari *push rod* akan disalurkan melalui *booster*, pada saat melewati *booster* akan mengalami pembesaran gaya, hasil perhitungan gaya yang dikeluarkan dari *booster* adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Brake Booster Schematic

$$\frac{F_{ob}}{F_{out}} = \frac{P_{atm}}{P_{vacm}} \quad (4)$$

Gaya dari booster rem

$$F_{ob} = F_{out} \times \frac{P_{atm}}{P_{vacm}} \quad (5)$$

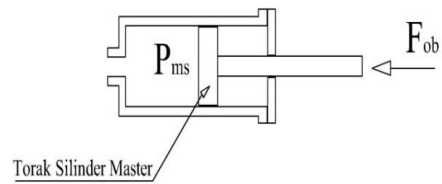
P_{atm} = tekanan atmosfer (Pa)

P_{vacm} = tekanan vakum (atm)

F_{ob} = gaya *output booster* rem (N)

3) Master Silinder

Gaya yang dikeluarkan dari *booster* akan diteruskan melalui master silinder, dibawah ini adalah perhitungan gaya yang dari keluar master silinder.



Gambar 5. Master Cylinder Schematic

Tekanan master silinder

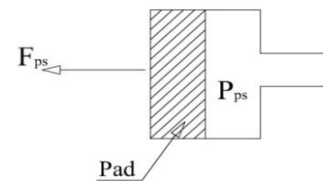
$$P_{ms} = \frac{F_{ob}}{0,25 \cdot \pi \cdot d_{ms}^2} \quad (6)$$

d_{ms} = diameter dalam master silinder (m)

P_{ms} = tekanan master silinder (Pa)

4) Kaliper

Kaliper merupakan sebuah piston yang akan bergerak jika mendapatkan tekanan dari fluida, kaliper inilah yang nantinya akan mendorong pad dan akan bergesekan dengan *disk brake*.



Gambar 6. Caliper Schematic

Tekanan Kaliper

$$P_{ms} = P_{ps} \quad (7)$$

$$\frac{F_{ms}}{A_{ms}} = \frac{F_{ps}}{A_{ps}} \quad (8)$$

A_{ps} = luas *pad kaliper* (m²)

A_{ms} = luas master silinder (m²)

F_{ms} = gaya master silinder (N)

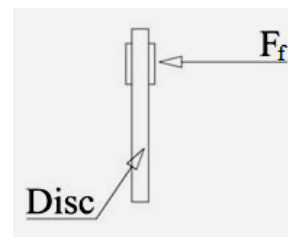
Gaya Pad Silinder

$$F_{ps} = A_{ps} \times \frac{F_{ms}}{A_{ms}} \quad (9)$$

F_{ps} = gaya *pad* silinder (N)

5) Disc Brake

Disk brake merupakan komponen yang terpasang pada roda berfungsi untuk menerima gaya yang dihasilkan dari *master caliper* yang akan diteruskan pada *disk brake* dan akan menghasilkan pengereman.



Gambar 7. Disc Brake Schematic

Gaya gesek pad pada disk

μ_d : koefisien disk pad - rigid molded asbestos

$$F_f = F_{ps} \times \mu_d \quad (10)$$

F_{ps} = Gaya pad silinder (N)

F_f = Gaya gesek pad disk (N)

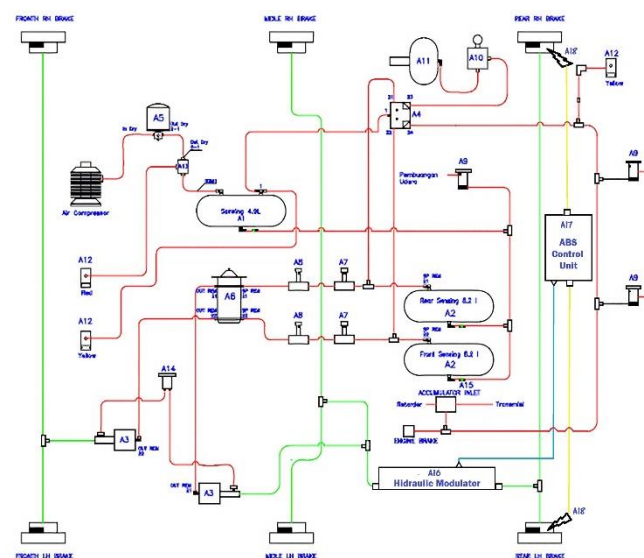
Torsi disk

$$T_d = F_f \times R_d \quad (11)$$

R_d = jari-jari dinamis roda (m)

T_d = Torsi disk (Nm)

Perhitungan diatas merupakan pemodelan dengan gaya pedal sebagai input, ini adalah komponen utama sebagai penghasil gaya pengereman disamping transmisi kendaraan. Dalam pemodelan ini, gaya input pedal digunakan sebagai gaya yang menghambat laju kendaraan yang akan dibagi menjadi output yaitu sebagai torsi pengereman akibat bergesekan dengan disk brake dan gaya pengereman dari master caliper.

C. Desain Skema Antilock Braking System

Gambar 8. Schematic Antilock Braking System

Keterangan :

A1 : Sensing	A10 : Handle Hand Brake
A2 : Roar Sensing	A11 : Chamber
A3 : Master Cylinder	A12 : Coupler
A4 : Protection Valve	A13 : Double Check Valve
A5 : Air Dryer	A14 : Oil T&4
A6 : Foot Brake Valve	A15 : Check Valve
A7 : Air Pressure	A16 : Hydraulic Modulator
A8 : Air Press.Tranducer	A17 : ABS Control Unit
A9 : Magnetic Valve	A18 : Wheel Speed Sensor

Pada gambar 8 terlihat komponen dari Antilock Braking System (ABS). Komponen ABS sendiri sama seperti gambar Lock Braking System (LBS), namun ada tambahan seperti ABS control unit, hydraulic modulator, wheel speed sensor. Dimana ketiga komponen tersebut saling terintegrasi menjadi satu dengan komponen LBS.

Untuk skema LBS, alur gaya dan tekanan pengereman bisa sampai mengerem disk brake yaitu yang pertama ketika pedal rem terkena gaya oleh pengemudi. Lalu gaya tersebut melalui foot brake valve diteruskan ke booster rem dan secara otomatis gaya tersebut di boost. Setelah dari booster rem,

input gaya tersebut masuk ke master silinder dan outputnya yaitu tekanan. Tekanan tersebut menekan fluida rem melalui house line brake, hingga sampai ke caliper. Input tekanan dari caliper dikonversi menjadi output gaya. Dan gaya tersebut ditransmisikan ke disk pad. Setelah sampai di disk, ada gaya rem dan torsi yang terjadi disana.

Untuk skema ABS sendiri sama alurnya dengan LBS, tetapi dari output master silinder yang berupa tekanan tersebut harus melewati modulator hidrolik dahulu, setelah itu baru dapat ke caliper. Setelah ke caliper maka akan diteruskan tekanan tersebut ke disk pad. Untuk ABS Panser sendiri, di dua roda belakangnya terdapat sensor kecepatan roda yang terintegrasi dengan ABS control unit.

Khusus untuk fungsi komponen ABS utama yaitu ABS control unit, hydraulic modulator, wheel speed sensor akan dibahas fungsinya secara garis besar disini. Sensor ini akan mendeteksi perubahan kecepatan, yang akan menjadi input signal dimana akan dikirimkan ke ABS control unit selaku otak dari sistem antilock ini. Setelah sampai di ABS control unit, sinyal tersebut diproses sangat cepat dan sinyal tersebut dikirimkan ke modulator hidrolik, dimana output dari modulator hidrolik adalah actuator yaitu pergerakan katup solenoid.

Dengan demikian terjadi perbedaan kinerja dari Antilock Braking System dibanding Lock Braking System. Karena LBS murni menggunakan mekanis semua, dibanding ABS yang sudah mengintegrasikan mekanis dan elektrik. Terdapat kontrol pada sistem ABS, sedangkan LBS tidak. Analoginya LBS memakai open control loop system, sedangkan ABS memakai close control loop system karena terdapat feedback berupa fluktuatif putaran roda.

D. Pemodelan Kendaraan1) Pemodelan Dinamis Kendaraan

Pemodelan dinamis kendaraan merupakan salah satu pemodelan matematis yang menganalisa gaya-gaya kendaraan pada saat pengereman, pada pemodelan ini ditekankan pada pengaruh slip yang terjadi pada saat roda lock, yang mempengaruhi roda lock yaitu tekanan pengereman yang lebih besar dari beban kendaran dikalikan koefisien gesek ($F_b > \mu \times W$).

Roda mengalami lock :

$$F_b = \mu \times W \quad (12)$$

Hukum Newton II

$$\sum F = m \times a \quad (13)$$

$$F_b + R_r + R_a = m \times a \quad (14)$$

$$a = \frac{F_b + R_r + R_a}{m}$$

Hambatan rolling dan hambatan aerodynamic

$$R_r = F_r \times r_{dinamis} \times \mu_d \quad (15)$$

$$R_a = \frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times A_f \times V^2 \quad (16)$$

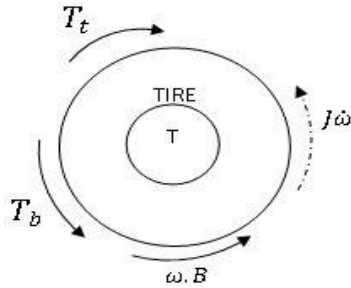
Radius dinamis roda

$$r_{dinamis} = r_w + \frac{r_w - r_{tire}}{2} \quad (17)$$

2) Pemodelan Roda Kendaraan

Pemodelan matematis ini meliputi torsi yang bekerja pada roda kendaraan dan berpengaruh pada saat terjadi pengereman, selanjutnya akan menjadi acuan untuk membuat

pemodelan dengan menggunakan blok diagram simulasi dari program, berikut adalah *free body* diagram dari roda kendaraan.



Gambar 9. *Free body* diagram brake dan roda

Inersia roda

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_{\text{tire}}^2 + r_w^2) \quad (18)$$

Torsi traktif

$$T_t = F_t \cdot r_{\text{dinamis}} \quad (19)$$

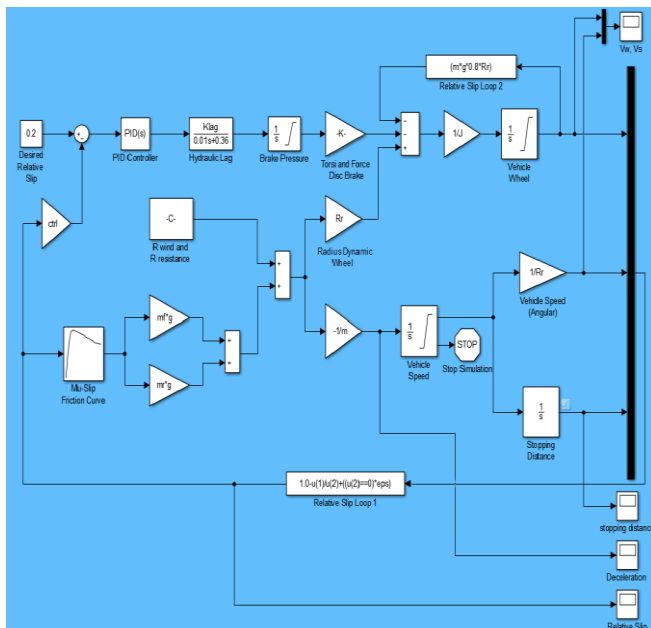
Torsi brake

$$T_b = F_b \cdot r_{\text{dinamis}} \quad (20)$$

Redaman jalan (torsi gesek)

$$\omega_w \cdot B = W \cdot r_w \cdot \mu_d \quad (21)$$

E. Pemodelan di Simulink



Gambar 10. Blok Simulink MATLAB Antilock Braking System

Setelah mendapatkan pemodelan matematis dari dinamika kendaraan pada saat terjadi pengereman maka selanjutnya akan dibuat blok-blok diagram pada program MATLAB sesuai dengan pemodelan matematis diatas, berikut merupakan blok simulasi dari program MATLAB. Pada simulink ini ada beberapa parameter pemodelan yang di tuliskan pada *m-script*.

Tabel 1.
Data spesifikasi Panser Anoa APC 6X6[3]

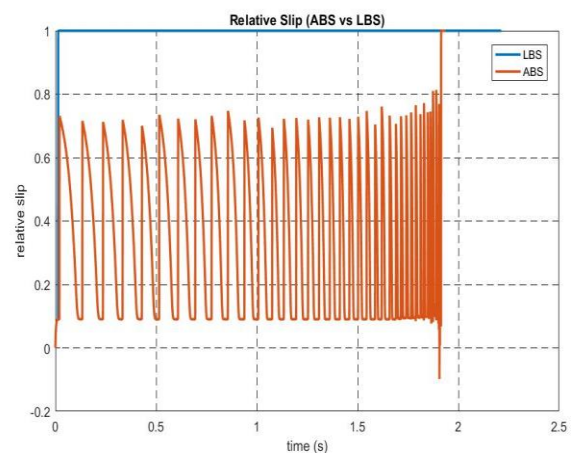
Dimensi Kendaraan	
Jarak sumbu roda	3020 mm
Lebar	2035 mm
Tinggi	2170 mm

Berat Kendaraan	
Berat Total (W)	128500 N
Berat depan (Wf)	50200 N
Berat tengah (Wm)	45700 N
Berat belakang (Wr)	32600 N
Aerodinamis	
Luas frontal	4.425 m ²
Massa jenis angin	1.225 kg/m ³
Koefisien drag (Cd)	0.8
Dimensi Komponen Rem	
Jarak pedal rem ke tumpuan (la)	0.220 m
Jarak push rod ke tumpuan (lb)	0.025 m
Diameter dalam master silinder	0.027 m
Disk Brake (Single Piston)	
Diameter piston caliper	0.062 m
Diameter rotor disk	0.384 m
Ban (1400 – R20 Runflat Insert)	
Jenis	Radial
Diameter roda	1200 mm
Lebar	300 mm
Koefisien adhesi Aspal (μ)	0.8
Koefisien hambatan rolling (f _r)	0.08

III. HASIL DAN ANALISA

Dari hasil pemodelan program MATLAB untuk sistem pengereman *Lock Braking System* (LBS) dan *Antilock Braking System* (ABS) di dapatkan beberapa karakteristik pengereman. Pada studi ini dilakukan simulasi untuk kecepatan 60 km/jam pada jalan lurus. Hasil simulasi dari kecepatan 60 km/jam akan ditampilkan sebagai berikut.

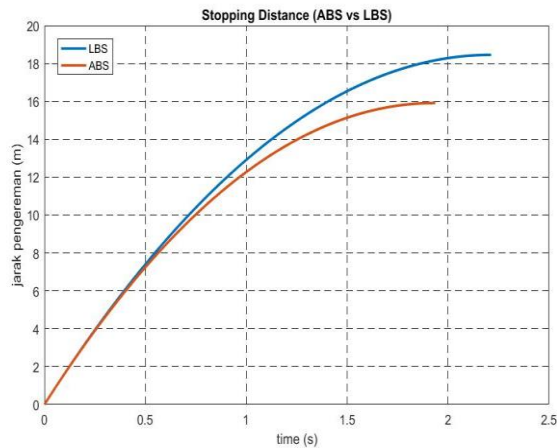
1) Respon Relative Slip



Gambar 11. Grafik perbandingan respon *slip* LBS dan ABS

Gambar diatas adalah grafik hasil dari simulasi perbandingan, antara respon *slip* roda *lock braking* dengan *antilock braking system*. Pada sistem *antilock* respon *slip* dijaga pada kondisi 10% - 70% hingga berhenti di 1.94 detik, sedangkan untuk sistem *lock* 100% respon *slip* terjadi saat 0.13 detik dan akan berhenti pada 2.20 detik.

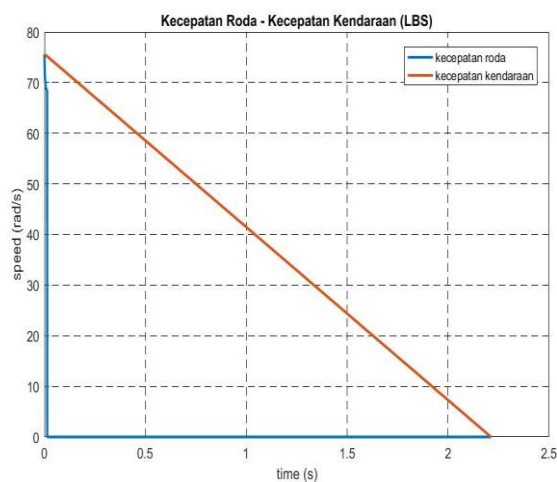
2) Respon Stopping Distance



Gambar 12. Grafik perbandingan jarak pengereman LBS dan ABS

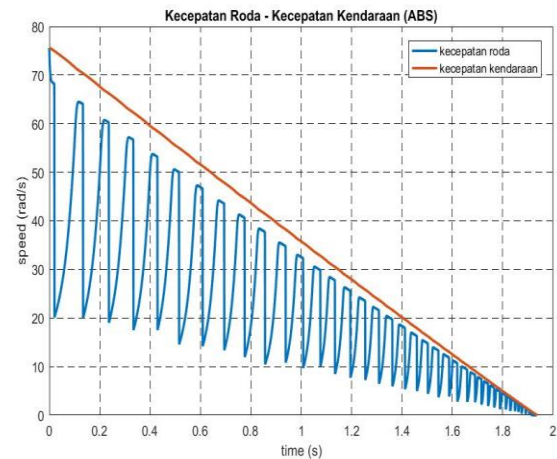
Gambar diatas merupakan grafik perbandingan dari hasil simulasi jarak pengereman dengan kecepatan kendaraan 60 km/jam dari pengereman sistem *antilock* dengan sistem *lock*, pada sistem *antilock* yang ditandai warna merah, kendaraan akan berhenti pada 16 meter di 1.94 detik sedangkan pada sistem *lock* kendaraan akan berhenti pada 18.45 meter di 2.20 detik, hal ini menunjukkan bahwa sistem pengereman *antilock* lebih dekat jarak pemberhentiannya dari pada sistem pengereman *lock*.

3) Respon Kecepatan Angular Roda - Kecepatan Kendaraan



Gambar 13. Grafik kecepatan angular roda dan kendaraan LBS

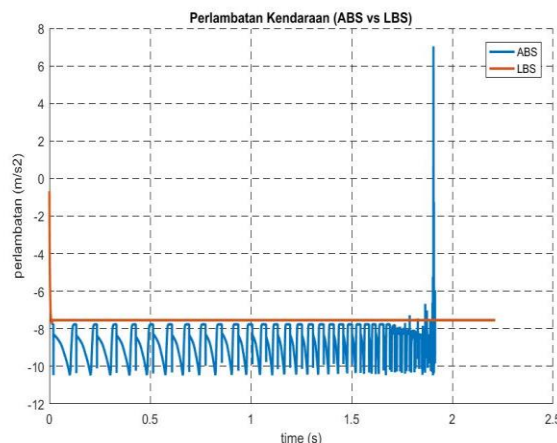
Gambar diatas merupakan grafik kecepatan angular roda dan kendaraan pada *lock braking* hasil dari simulasi MATLAB, grafik diatas menunjukkan kecepatan angular roda (rad/s) mencapai nilai 0.00 di 0.01 detik dan tidak menunjukkan fluktuasi kecepatan hingga berhenti akibat dari respon *slip* yang terjadi pada roda, maka bisa dikatakan *slip* kendaraan adalah 100%.



Gambar 14. Grafik kecepatan angular roda dan kendaraan ABS

Gambar diatas merupakan grafik kecepatan angular roda dan kendaraan pada *antilock braking* hasil dari simulasi MATLAB, pada kecepatan angular roda mengalami penurunan pertama dari 75.59 rad/sec menjadi 20.82 rad/sec dan seterusnya hingga berhenti pada 1.94 detik. Kecepatan awal kendaraan 16.67 m/s dan berhenti pada 1.94 detik sama seperti kecepatan angular roda. Roda mengalami *slip* 0.05 detik, *no slip* 0.15 detik dan berfluktuasi terus hingga berhenti di 1.94 detik.

4) Respon Perlambatan

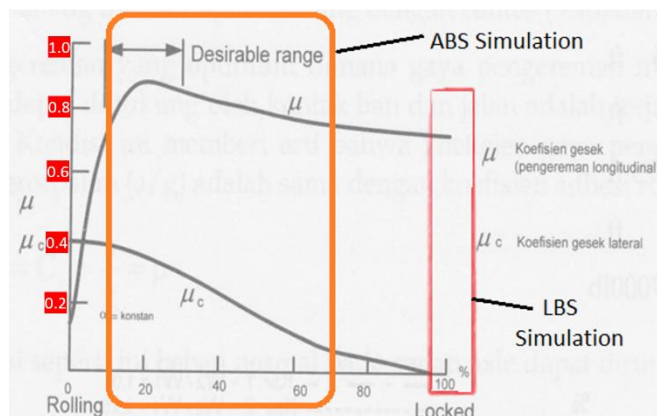


Gambar 15. Grafik perbandingan perlambatan kendaraan LBS dan ABS

Gambar diatas adalah grafik perbandingan perlambatan LBS dengan ABS pada sistem *lock* ditunjukkan warna merah perlambatan awal pada 0.015 detik yaitu 8.50 m/s² kemudian pada 0.126 detik perlambatan menjadi 7.54 m/s² sedangkan pada *antilock* perlambatan yang terjadi 7.76 m/s² di 0.012 detik hingga 10.46 m/s² sampai kendaraan berhenti.

5) Respon Perilaku Belok

Respon perilaku belok kendaraan terlihat pada hubungan gambar 11 dan gambar 16. Gambar 16 menunjukkan pengaruh koefisien gesek longitudinal dan koefisien gesek lateral terhadap persentase *lock* roda. Besarnya angka koefisien gesek longitudinal mempengaruhi *stopping distance* sedangkan untuk koefisien gesek lateral mempengaruhi respon belok kendaraan saat mengerem.



Gambar 16. Hubungan skid terhadap koefisien adhesi [3]

Lalu untuk gambar 11 menunjukkan *relative slip* – waktu Panser ABS dan LBS. Disini terlihat bahwa ABS mempunyai *relative slip* = 0.1 - 0.7 yang berarti mempunyai kisaran nilai koefisien gesek longitudinal 0.75 – 0.90 dan lateral 0.10 – 0.40. Sedangkan untuk LBS mempunyai *relative slip* = 1 (lock 100%) yang berarti mempunyai kisaran nilai koefisien gesek longitudinal 0.75 dan lateral hampir 0.00. Salah satu parameter untuk melihat perilaku belok (kasus ini *oversteer*) yaitu besarnya nilai koefisien gesek lateralnya. Dan terlihat bahwa perbedaan koefisien gesek lateral ABS lebih besar dibanding LBS, oleh karena itu perilaku cenderung *oversteer* Panser lebih besar di sistem LBS dibanding sistem LBS. Kesimpulannya yaitu, stabilitas Panser saat berbelok lebih bagus pada *Antilock Braking System* dibanding dengan *Lock Braking System*.

Tabel 2.
Respon Parameter ABS dan LBS terhadap UK Standard
Stopping Distance

Parameter (60 km/h)	ABS	LBS	UK Standard Stopping Distance ^[5]

Jarak pengereman (m)	16	18.45	22
Waktu pengereman (det)	1.94	2.20	-
Perlambatan (m/s ²)	7.76 – 10.49	7.54	-
Relative slip	0.1 – 0.7	1	-

KESIMPULAN

Dari pemodelan, analisa data dan simulasi yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- Respon jarak pengereman pada *antilock braking system* dan *lock braking system* yang ditunjukkan pada kecepatan 60 km/jam yaitu untuk *antilock braking system* yaitu 16 meter, sedangkan untuk *lock braking system* adalah 18.45 meter. Disini dapat disimpulkan dari nilai jarak pengereman bahwa *antilock braking system* lebih baik daripada *lock braking system*.
- Respon waktu pengereman pada *antilock braking system* dan *lock braking system* yang ditunjukkan pada kecepatan 60 km/jam untuk *antilock braking system* yaitu 1.94 detik. Sedangkan untuk *lock braking system* yaitu 2.20 detik. Terlihat sedikit perbedaan waktunya namun *antilock braking system* tetap lebih aman dibanding *lock braking system*.
- Karena hanya roda belakang yang ditambahkan komponen *antilock braking*, maka *lock braking system* lebih cenderung *oversteer* karena nilai koefisien gesek lateralnya hampir 0.00 sedangkan untuk *antilock braking system* nilai koefisien gesek lateralnya 0.10 – 0.40.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Reif, "Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems," Springer Fachmedien Wiesbad., 2014.
- [2] P. PINDAD, *Measurement Center of Gravity*. 2016.
- [3] B. Sutantra, I.N. dan Sampurno, *Teknologi Otomotif*. Surabaya: Guna Widya, 2010.